

## **Produção de Cartografia de Visibilidades para Portugal Continental. A Importância da sua Utilização na Vigilância Contra Incêndios Florestais**

**Filipe Xavier Catry\*, Rui Manuel Almeida\*\* e Francisco Castro Rego\*\*\***

\* Engenheiro Florestal

Instituto Geográfico Português. Centro para a Exploração e Gestão da Informação Geográfica, R. Artilharia Um, 107, 1099-052 LISBOA

\*\* Engenheiro Florestal

Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil. Direcção de Serviços de Prevenção e Protecção. Rua José Estevão, 137 - 8º, 1169-158 LISBOA

\*\*\* Professor Associado

Instituto Superior de Agronomia. Centro de Ecologia Aplicada "Prof. Baeta Neves", Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

---

**Sumário.** Em Portugal, a Rede Nacional de Postos de Vigia (RNPV) representa um dos principais sistemas de vigilância contra fogos florestais ao nível estatal, sendo actualmente constituído por 237 postos de vigia distribuídos de norte a sul do país.

Para um correcto planeamento e uma eficaz gestão desta rede, integrada num sistema de vigilância mais vasto, é essencial o conhecimento das áreas do território nacional cobertas pelos postos de vigia, sendo para tal necessário produzir cartas de visibilidades. Porém, a produção deste tipo de cartografia é praticamente inexistente no nosso país, e a informação que estas cartas proporcionam não é utilizada para efeitos de planeamento e gestão, apesar da sua reconhecida importância.

Com o objectivo de contribuir para o apoio ao planeamento do sistema de vigilância terrestre em geral e à gestão da RNPV em particular, apresentam-se e discutem-se metodologias para a elaboração de uma carta nacional de visibilidades e de uma carta nacional de prioridades de vigilância, e analisam-se os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Rede Nacional de Postos de Vigia; planeamento; SIG

### **Production of Visibility Maps for Continental Portugal and their Use in the Surveillance of Forest Fires**

**Abstract.** In Portugal, the National Lookout Posts Network (RNPV) represents one of the main forest fire monitoring systems at the state level, currently consisting of 237 lookout posts distributed from the north to south of the country.

To plan correctly and manage efficiently this network, integrated in a wider monitoring system, the knowledge of the territory covered by the lookout posts is essential, this being necessary to produce visibility maps. However, despite its recognized importance, the

production of this type of cartography is practically inexistent in our country, and the information that these maps provide is not used for planning and management purposes.

With the objective to contribute to the support of the planning of the terrestrial monitoring system in general and to the management of the NLPN in particular, we present and discuss methodologies to produce a national visibility map and a national monitoring priority map, and we analyze the results.

**Key words:** National Lookout Posts Network; GIS; management planning

**Production de Cartographie de Visibilité pour le Portugal Continental. L'Importance de son Utilisation dans la Surveillance Contre des Incendies Forestiers**

**Résumé.** Au Portugal, le Réseau National de Postes Vigie (RNPV) représente, au niveau officiel, un des principaux systèmes de surveillance contre les incendies de forêts. Il est actuellement constitué de 237 postes vigies distribués du nord au sud du pays.

Pour une planification correcte et une gestion efficace de ce réseau, intégrée dans un système de surveillance plus vaste, il est essentiel de savoir quelles sont les zones du territoire national couvertes par les postes vigies, et il est donc nécessaire de produire des cartes de visibilité. Cependant, la production de ce type de cartographie est pratiquement inexistante dans notre pays et, malgré la reconnaissance de leur importance, les informations que ces cartes fournissent ne sont pas employées à la planification ni à la gestion des postes vigie.

En vue de contribuer en général à l'appui de la planification du système de la surveillance terrestre et de la gestion du RNPV en particulier, des méthodologies pour l'élaboration d'une carte nationale de visibilité et d'une carte nationale de priorités de surveillance sont présentées et discutées. Les résultats obtenus sont analysés.

**Mots clés:** Réseau National de Postes Vigie; planification ; SIG

---

## Introdução

Os incêndios florestais em Portugal constituem um fenómeno que se tem vindo a agravar nas últimas décadas, representando importantes perdas em termos sócio-económicos. Portugal é o único país da Europa Mediterrânica onde nas últimas duas décadas (1980-2001) se registou um aumento da área média anual ardida (de cerca de 74 mil ha para 102 mil ha), sendo também aquele que apresenta proporcionalmente uma maior área florestal ardida, relativamente à área que cada país ocupa (EC, 2002).

Os esforços a desenvolver para alterar esta situação deverão centrar-se essencialmente nas acções de prevenção e de vigilância; porém, nos muitos casos em que a prevenção não é suficiente para evitar a deflagração de um foco de

incêndio, a sua rápida detecção constitui um factor decisivo para que seja possível minimizar os danos provocados pelo fogo e para a redução das despesas associadas ao seu combate.

Em Portugal a vigilância contra incêndios florestais é assegurada a nível estatal por três sistemas de vigilância: terrestre fixa, terrestre móvel e aérea. Neste trabalho aborda-se apenas o sistema de vigilância terrestre fixa, constituído por 237 postos de vigia que integram a Rede Nacional de Postos de Vigia (RNPV) e que são apoiados por 13 Centros de Prevenção e Detecção (GALANTE, 2001).

Para assegurar um eficaz planeamento e gestão de uma rede de postos de vigia, considerada como parte integrante de um sistema de vigilância mais vasto e numa perspectiva de optimização dos

recursos disponíveis, é fundamental que se conheçam as áreas de território cobertas pelos postos de vigia existentes (SHOW *et al.*, 1937; BROWN e DAVIS, 1973; MACEDO e SARDINHA, 1987; RUIZ, 2000; FAO, 2001). Porém, esta questão está ainda muito pouco estudada em Portugal<sup>1</sup>, não sendo normalmente utilizada no planeamento e gestão dos sistemas de vigilância. Por esse motivo, procurou-se com este trabalho dar um contributo para um melhor conhecimento desta questão, designadamente através do desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para produção de uma carta de visibilidades para Portugal continental.

Por outro lado, será extremamente irrealista considerar que o objectivo da vigilância é observar todas as áreas de igual forma, pelo que, simultaneamente à análise das visibilidades, deverá ser dada prioridade à vigilância de áreas que apresentem um maior risco de incêndio (DAVIS *et al.*, 1959; ICONA, 1981; RUIZ, 2000; FAO, 2001). Para analisar este aspecto importante, foi também produzida uma carta nacional de prioridades de vigilância, na qual, se avaliou simultaneamente a visibilidade e o risco de incêndio de cada local.

### Metodologia

No trabalho que aqui se apresenta, toda a produção cartográfica e análise espacial da informação geográfica foi efectuada com recurso ao *software ArcGis* (ESRI).

#### *Produção de uma carta nacional de visibilidades*

Um dos objectivos deste trabalho foi o de produzir uma carta nacional de visibilidades em formato digital, com uma

resolução espacial de 25 metros, tendo como principal finalidade identificar:

a) As áreas que não são vigiadas pelos postos de vigia, e nas quais poderá (numa primeira análise) ser prioritária a implementação ou reforço das acções de vigilância, quer através de sistemas de detecção alternativos, como por exemplo a detecção terrestre móvel, quer através da instalação de novos postos de vigia;

b) As áreas que são visíveis apenas por um posto de vigia, e onde conseqüentemente se torna mais difícil uma localização exacta dos focos de incêndio, embora estas sejam menos prioritárias em termos de vigilância;

c) As áreas que são observadas simultaneamente por 4 ou mais postos de vigia, onde existe um grande esforço de detecção, sem que se verifique um aumento comprovado da sua eficácia.

A cartografia de base necessária ao cálculo das visibilidades consiste num ficheiro com a localização geográfica dos pontos de observação e num modelo digital de terreno (MDT). Para tal utilizou-se um mapa em formato vectorial, com a localização dos 237 postos de vigia que actualmente integram a RNPV, produzido a partir de informação disponibilizada pela Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF), e um MDT em formato raster e com uma resolução espacial de 25 metros produzido no Instituto Geográfico Português (IGP), a partir das cartas de altimetria à escala 1:25 000, em que as curvas de nível são representadas com uma equidistância de 10 m, da autoria do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE).

#### Determinação dos raios de visibilidade

Para que se possam determinar as áreas visíveis e não visíveis a partir de

cada posto de vigia é necessário, em primeiro lugar, definir o alcance da visibilidade para cada zona (BROWN e DAVIS, 1973; RUIZ, 2000; FAO, 2001). Apesar de a visibilidade não ser em regra igual em todas as direcções, na prática assume-se essa igualdade, fazendo-se o mapeamento num determinado raio, que geralmente corresponde à distância máxima de visibilidade, tendo como centro o ponto de observação (DAVIS *et al.*, 1959).

No entanto, os raios de visibilidade variam extraordinariamente em função das regiões e dos diversos factores a elas associados, tais como a transparência da atmosfera, contrastes e topografia, entre outros (BUCK, 1938; BRUCE, 1941; CHANDLER *et al.*, 1983; FAO, 2001). Por exemplo nos Estados Unidos da América têm sido usados raios que variam entre 10 km e 40 km ou mais, consoante os locais (DAVIS *et al.*, 1959; BROWN e DAVIS, 1973). Devido a estas variações na visibilidade e ao facto de não existirem estudos relativos ao alcance da visibilidade nos postos de vigia portugueses, optou-se por proceder à análise de uma base de dados relativa às detecções efectuadas pela RNPV durante a época de fogos de 2001. Esta base de dados foi disponibilizada pela DGRF e é constituída pelos registos<sup>2</sup> de 9434 detecções, efectuadas por 207 postos de vigia (87% da RNPV).

Inicialmente procurou-se verificar qual o tipo de relação existente entre a distância e o número de focos de incêndio detectados, tendo para tal sido utilizada uma análise de regressão linear simples. Por outro lado pretendeu-se determinar até que distância a maior parte dos focos de incêndio foram detectados pelos postos de vigia, tendo-se considerado para o efeito que este

valor seria representado pela distância até à qual 95% das observações foram efectuadas (percentil 95). Posteriormente, e devido às referidas diferenças regionais de visibilidade, procedeu-se a uma análise mais específica para tentar determinar se seria possível identificar esse tipo de diferenças ao nível do nosso país, e em caso afirmativo aplicar diferentes raios de visibilidade consoante o posto de vigia em causa. Para tal seleccionaram-se diversos parâmetros ambientais que variam geograficamente e que poderiam eventualmente ter alguma influência sobre a visibilidade. Os parâmetros seleccionados são os seguintes: a) irregularidade do terreno; b) continentalidade; c) humidade relativa; d) altitude; e) temperatura; f) precipitação; g) evapotranspiração; h) insolação; i) radiação solar.

Relativamente à quantificação da irregularidade do terreno, considerada como a presença de uma topografia mais ou menos irregular, utilizou-se um índice de rugosidade que foi definido como sendo o quociente entre a área real (tridimensional) e a área planimétrica (JENNESS, 2001) existente num raio de 30 quilómetros em redor de cada posto de vigia. Quanto à continentalidade, entendida como sendo a maior ou menor proximidade da terra em relação ao mar, estabeleceram-se apenas duas classes - litoral e interior. A informação relativa aos parâmetros de c) a i) foi retirada do Atlas Digital do Ambiente (IA, 2003).

Cada um dos 9 parâmetros atrás referidos foi dividido em classes (entre 2 e 4), tendo depois sido constituída uma base de dados com a identificação de cada posto de vigia, da classe de cada parâmetro que geograficamente lhe está associado, e o respectivo valor do percentil 95 relativo às distâncias de

detecção. Por fim foram efectuadas análises de variância com os diversos factores, na qual se optou por utilizar apenas os dados relativos aos postos de vigia que efectuaram pelo menos 30 detecções, pelo facto de esta amostra, permitir a obtenção de um modelo mais robusto e uma melhor precisão, verificada pela diminuição dos erros padrões das médias. Verificou-se existirem 98 postos de vigia nestas condições, representando 41% do número total de postos existentes na RNPV.

#### Quantificação dos efeitos da curvatura da Terra e da refração atmosférica

A curvatura da Terra e refração da luz ao atravessar a atmosfera são factores que afectam as condições de visibilidade, sendo que os seus efeitos aumentam exponencialmente com a distância. Estes efeitos são no entanto contrários, ou seja, enquanto a curvatura da Terra provoca uma diminuição efectiva da altura visível dos objectos observados, a refração atmosférica provoca um aumento aparente dessa altura, verificando-se porém que o efeito da refração representa apenas cerca de 14% do efeito da curvatura, pelo que o saldo em termos de visibilidade é sempre negativo (Quadro 1).

Para quantificar a referida perda de visibilidade, foi integrada no MDT uma equação apresentada por SGMA (1998), que considera simultaneamente estes dois factores:  $H = D^2 / 2 R (1 - 2 K)$ , em que a variável H representa a diminuição efectiva de altura para um objecto situado a uma distância D (distância do objecto ao observador), a variável K representa o coeficiente de refração e R

representa o raio da Terra.

#### Opções no cálculo das visibilidades

O programa *ArcGis*, ao executar a função de cálculo das visibilidades (*viewshed*), assume por defeito uma série de valores que são usados nesses cálculos (ESRI, 1992), no entanto, existem diversos parâmetros opcionais que podem ser definidos pelo utilizador. Neste trabalho utilizaram-se os valores por defeito assumidos pelo programa, à excepção dos seguintes parâmetros:

i) *OffsetA* - Altura de observação: Os valores considerados para definir esta altura foram determinados, para cada posto de vigia, da seguinte forma:  $OffsetA = H_{pv} + H_{obs}$ , sendo  $H_{pv}$  definido como a altura da plataforma de cada posto de vigia (variável consoante cada posto de vigia), e sendo  $H_{obs}$  a altura média de observação de uma pessoa. O valor adoptado para  $H_{obs}$  foi de 160 cm; considerou-se que a altura média de uma pessoa é 170 cm (USDHHS, 2002), e retirou-se 10 cm a este valor (diferença para a altura de observação);

ii) *OffsetB* - Altura dos pontos alvo: Com este parâmetro é adicionado um valor em altura a cada célula do mapa no momento em que se está a avaliar a sua visibilidade, enquanto as células existentes entre o observador e a célula a avaliar ficam com o valor de altitude normal. Ao adicionar este parâmetro estamos a aumentar a visibilidade de cada célula em avaliação, uma vez que esta fica mais elevada em relação às restantes. No estudo que aqui se apresenta foram testados três valores diferentes para este parâmetro (0 m, 10 m e 20 m);

**Quadro 1** - Efeito da curvatura da Terra e da refração atmosférica sobre a visibilidade (cálculo segundo a fórmula apresentada por SGMA, 1998 - valores arredondados à unidade)

Distância em km	Efeito da Curvatura da Terra (Redução em m)	Efeito da Refracção Atmosférica (Aumento em m)	Efeito Conjunto dos 2 Factores (Redução em m)
10	8	1	7
30	71	10	61
50	196	28	169
100	784	110	675

iii) *Radius2* - Raio de observação: Este parâmetro especifica o limite superior da distância a pesquisar, ou seja, o raio de distância para o qual se pretende fazer a análise de visibilidade, tendo como centro o posto de vigia. Para as cartas de visibilidades produzidas neste trabalho, utilizaram-se 6 raios diferentes, em função dos resultados obtidos na análise estatística efectuada (22, 24, 25, 28, 29 e 35 km).

*Produção de uma carta de prioridades de vigilância complementar*

Outro dos objectivos que se pretendeu alcançar com este trabalho foi a identificação das áreas do território continental onde existe uma maior ou menor necessidade de complementar a vigilância contra os incêndios florestais. A delimitação das áreas de vigilância prioritária poderá em termos práticos ser de grande utilidade no apoio ao planeamento e gestão florestal, sobretudo na óptica da optimização dos recursos alocados aos sistemas de vigilância terrestre.

Um dos métodos mais simples para produzir uma carta deste tipo, consiste em efectuar a análise simultânea de uma carta de visibilidades e de uma carta de risco de incêndio. Este processo permite

determinar as áreas que não são vigiadas pela RNPV e que apresentam simultaneamente um elevado risco de incêndio (onde a prioridade de vigilância foi considerada máxima), e no extremo oposto, definir as áreas que são observadas por diversos postos de vigia e com menor risco (onde a prioridade de vigilância foi considerada mínima).

Com este objectivo, foi utilizada a carta de visibilidades na qual se considera o parâmetro *offsetB* com uma altura de 10 m. Para a quantificação do risco de incêndio, utilizou-se a "Carta de Risco de Incêndio de Portugal continental", produzida pelo Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia (LDRAG), sob a égide da DGRF (DGRF, 2004). Esta carta de risco cartografa quantitativamente a probabilidade de ocorrência de incêndios em Portugal continental, com base na análise de padrões espaciais de ocorrência de fogos florestais durante a última década e da sua relação com um conjunto de variáveis ambientais subjacentes (altitudes, exposições, ocupação do solo, clima e população).

A referida carta de risco baseia-se numa grelha de 1000 por 1000 metros, o que significa que o seu nível de pormenor (resolução espacial) relativamente à carta de visibilidades é bastante

inferior. A regra genericamente aceite para efectuar o cruzamento de mapas que possuem diferentes resoluções, considera que é necessário fazer uma generalização da carta de maior resolução. No presente trabalho aplicou-se um processo de generalização da carta de visibilidades (utilizando o valor mais frequente) para uma resolução de 1000 m, correspondente à carta de risco de incêndio.

No Quadro 2 apresenta-se a classificação adoptada para definir os diferentes níveis de prioridade de vigilância para cada área, tendo em consideração simultaneamente o grau de risco de incêndio existente nessa área, e o número de postos de vigia que a conseguem observar.

## Resultados e discussão

### *Influência da distância e das características do local sobre a visibilidade*

Numa primeira fase, e antes de iniciar o processo de mapeamento das visibilidades, pretendeu-se determinar: a) qual o tipo de relação existente entre o número de focos de incêndio detectados pelos postos de vigia e a distância à qual esses fogos se encontram do observador; b) qual o raio de visibilidade nos postos de vigia nacionais. Para o efeito recorreu-se à análise da base de dados da DGRF relativa às detecções efectuadas em 2001 pela RNPV.

a) Utilizando uma análise de regressão linear simples, verificou-se a existência de uma forte correlação entre a detecção dos fogos e a distância a que estes se encontram dos postos de vigia. Os resultados obtidos mostram que a distância é responsável por 98,5% da variação no número de fogos observado,

ou seja, podemos afirmar que a detecção de fogos é fortemente influenciada pela distância a que estes se encontram dos postos de vigia.

b) Através da análise à mesma base de dados, verificou-se que cerca de 95% dos fogos em Portugal foram detectados até uma distância de 28 km. Porém, e devido ao facto já referido de se verificarem frequentemente grandes diferenças regionais no alcance da visibilidade, procurou-se determinar se seria possível identificar esse tipo de diferenças ao nível do nosso país. Os factores que mostraram ter uma influência significativa sobre o alcance da visibilidade foram a irregularidade do terreno e a continentalidade (níveis de significância de 0,003 e 0,004, respectivamente). Com base nestes resultados, conclui-se que o alcance da visibilidade é superior nas regiões do interior relativamente às regiões do litoral, e é também superior em zonas mais planas relativamente a zonas acidentadas. As combinações entre estes dois factores possibilitaram a divisão da RNPV em seis grupos distintos, consoante a sua localização geográfica. As distâncias de visibilidade obtidas correspondem aos valores médios marginais estimados com base no percentil 95 das distâncias de detecção (Quadro 3), e são os raios que se optou por utilizar na elaboração das cartas de visibilidades.

O resultado obtido nesta análise, de que o alcance de visibilidade é superior nas zonas mais planas, relativamente às zonas com um relevo mais irregular, dá-nos a indicação de que o raio de visibilidade a utilizar deverá ser superior em regiões planas. Por exemplo RUÍZ (2000), sugere a utilização de um raio de 20 km no caso de o terreno ser plano e de 10 km se este for acidentado.

**Quadro 2** - Níveis de prioridade de vigilância adoptados para a carta de prioridades de vigilância e critérios para a atribuição dessa classificação (1 - Muito Baixa; 2 - Baixa; 3 - Média; 4 - Elevada; 5 - Muito Elevada)

Visibilidade (Nº de PV que observam o local)	Risco de Incêndio				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
Nula (0)	5		4	3	
Insuficiente (1)	4	3		2	1
Média (2 - 3)	2			1	
Muito boa (> 4)	1				

**Quadro 3** - Raios de visibilidade médios para as combinações dos factores rugosidade e continentalidade, em função das distâncias de detecção dos fogos

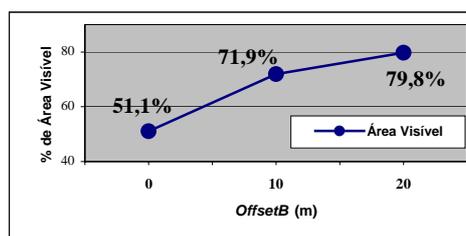
Continentalidade	Irregularidade do terreno		
	Maior	Média	Menor
Litoral	22 km	24 km	28 km
Interior	25 km	29 km	35 km

Este facto deverá estar directamente relacionado com as condições atmosféricas, como a ocorrência de névoas, que frequentemente se verifica em zonas montanhosas. Já em relação ao factor continentalidade, não foram encontradas referências bibliográficas directas relativamente à sua influência sobre a visibilidade.

#### *Influência do parâmetro offsetB sobre a visibilidade*

Com o objectivo de avaliar a influência, sobre a visibilidade, da altura que se atribui ao parâmetro *offsetB* (altura dos pontos alvo), foram testados três valores diferentes: 0, 10 e 20 metros. Os valores que se apresentam na Figura 1, resultam da análise de três cartas de visibilidade produzidas para todo o território continental, segundo a metodologia descrita. Os resultados obtidos mostram que pequenas variações na altura dos pontos alvo, podem

originar grandes diferenças nos resultados de visibilidade obtidos; a nível nacional a área total visível passou de aproximadamente 51% para 80%, ao variar o *offsetB* de 0 para 20 metros. Verifica-se ainda que as maiores diferenças ocorrem entre os 0 e os 10 metros, correspondendo a um aumento de 20,8% na área total visível; entre os 10 m e os 20 m esse aumento é bastante menos acentuado (7,9%).



**Figura 1** - Variação da área do território nacional visível, em função do valor considerado para definir o parâmetro *offsetB*

A análise dos resultados obtidos a nível nacional, permite afirmar que este parâmetro tem uma influência decisiva sobre a visibilidade, pelo que a decisão relativa à escolha do seu valor deverá ser cuidadosamente ponderada.

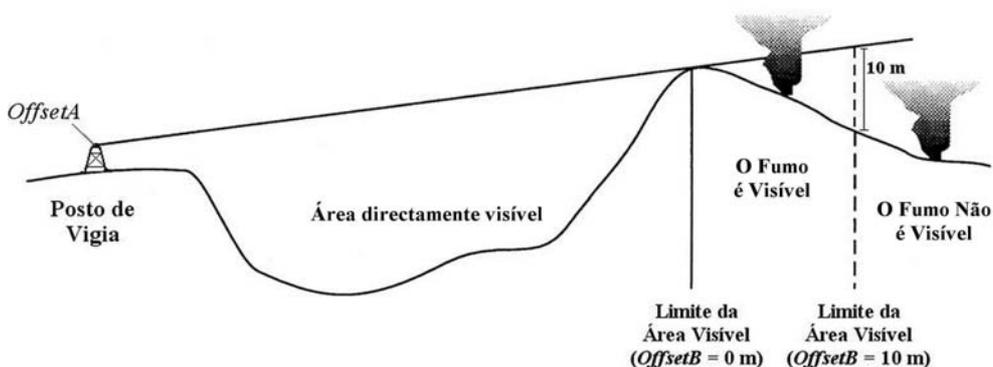
#### *Seleção da carta de visibilidades*

De entre as três cartas de visibilidades produzidas, optou-se por adoptar como produto final a carta produzida através da utilização de uma altura de 10 m para definir o parâmetro *offsetB*, tendo esta escolha sido baseada fundamentalmente em dois aspectos:

1) Por um lado considerou-se que esta carta será mais apropriada do que a que utiliza um *offsetB* de 0 m, devido à constatação de que muitos fogos são detectados em áreas que não são directamente visíveis (DAVIS *et al.*, 1959; MEES, 1978 - citado em FISHER, 1996), ou seja, mesmo que as chamas não sejam visíveis o fumo pode ser detectado, sendo por isso aceitável considerar um certo valor de tolerância (*offsetB*) no mapeamento das visibilidades (SHANK, 1931 - citado em DAVIS *et al.*, 1959; MEES,

1978 - citado em FISHER, 1996); esta questão da detecção está ilustrada na Figura 2.

2) Por outro lado a importância crucial de que a detecção seja efectuada enquanto o fogo tem pequenas dimensões, leva a que não se devam considerar valores de *offsetB* elevados pois isso corresponde a aceitar que a detecção possa ser atrasada por tempo indeterminado. Quanto maior for o valor de tolerância, maior será o atraso na detecção, sobretudo em condições de vento ou de inversão térmica em que o fumo terá tendência a dispersar-se ou a deslocar-se horizontalmente, demorando mais a atingir a linha de visão (BRUCE, 1941; MEES, 1978 - citado em FISHER, 1996; TREJO, 1996; FAO, 2001), ou ainda nos casos em que a detecção apenas pode ser feita pela observação directa das chamas ou da luz que estas irradiam, como acontece normalmente na detecção nocturna. Segundo dados da DGRF, analisados no decorrer deste trabalho, relativos às detecções efectuadas a nível nacional por diferentes meios entre 1996 e 2000, verifica-se que cerca de 20% dos fogos foram detectados durante a noite.



**Figura 2** - Representação esquemática da existência de áreas que não são directamente visíveis, mas onde um fogo será provavelmente detectado (esquema adaptado de FISHER, 1996)

### *Análise das visibilidades*

A carta de visibilidades adoptada, sobre a qual se efectuaram as subsequentes análises, é apresentada na figura 3. Observada à escala nacional, esta carta dá apenas uma ideia geral das principais áreas do território visíveis ou não visíveis, porém a sua observação e análise pode ser efectuada com um nível de detalhe muito superior.

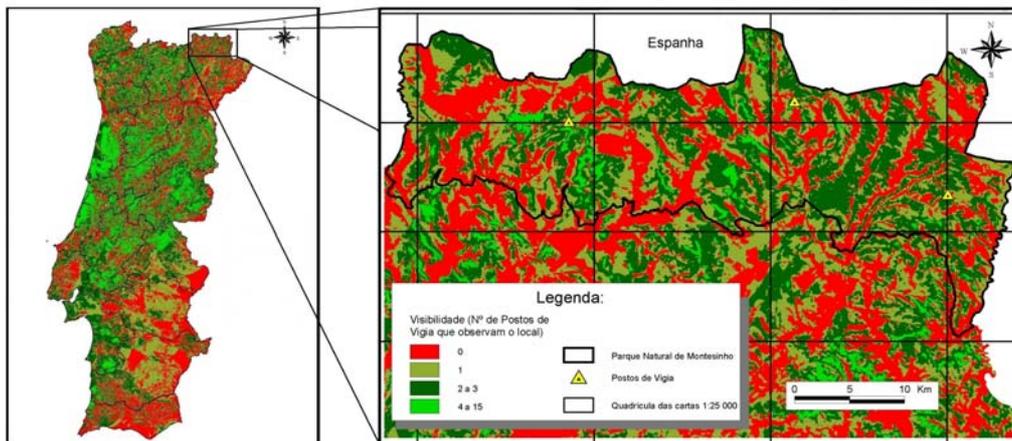
Da análise desta carta de visibilidades, constata-se que cerca de 72% do território continental nacional é visível a partir da RNPV, porém, 41% dessa área é vigiada por apenas um posto de vigia (Quadro 4), o que representa um baixo grau de cobertura, significando que um fogo detectado nessas áreas será mais dificilmente localizado com rigor (ICONA, 1981; ARTSYBASHEV, 1984; MACEDO e SARDINHA, 1987).

Através de uma análise mais pormenorizada da visibilidade, verifica-

se que para a maioria dos postos de vigia (80%), a área visível dentro do seu raio de visibilidade potencial é superior a 70%, o que aparentemente é indicador de uma boa localização desses postos em termos de visibilidade. Por outro lado constata-se que em cerca de metade dos postos de vigia, pelo menos 20% da área dos seus raios de visibilidade é simultaneamente observada por 4 ou mais vigias, o que parece indicar um excesso de cobertura em certas zonas.

**Quadro 4** - Resultados de visibilidade obtidos a nível nacional (*offsetB* de 10 m)

Nº de PV que observam o território	Área de cada classe
0	28,1%
1	29,2%
2 a 3	29,1%
4 a 15	13,6%



**Figura 3** - Carta nacional de visibilidades, e pormenor da carta para a área do Parque Natural de Montesinho e zona envolvente

### *Análise do risco de incêndio por posto de vigia*

Os resultados da análise efectuada mostram que 135 postos de vigia (57% da RNPV) incluem dentro do seu raio de visibilidade mais de 50% de áreas classificadas com alto e muito alto risco de incêndio, o que em termos gerais parece indicar uma boa localização destes postos relativamente a este factor. Por outro lado verifica-se que uma parte importante dos postos de vigia (cerca de 26%), incluem apenas até 5% destas áreas mais sensíveis ao fogo no seu raio de visibilidade.

### *Exemplo de avaliação da importância de alguns postos de vigia*

A análise geográfica de determinados parâmetros permite a identificação de postos de vigia cuja localização será porventura menos adequada, relativamente a outros postos ou a outras localizações alternativas. Este tipo de análises facilita a classificação dos postos de vigia em função da sua importância potencial para efeitos de vigilância contra incêndios, possibilitando a

optimização dos recursos disponíveis. A título exemplificativo, descreve-se em seguida a situação de três postos de vigia situados no litoral centro/norte, que nos parecem ser fortes candidatos a encabeçar uma lista de potenciais postos a encerrar, no caso de se equacionar uma redistribuição ou uma redução da actual RNPV. Nestes postos de vigia, constata-se que entre 52% e 66% da área incluída no seu raio de visibilidade é observada simultaneamente por 4 ou mais postos de vigia, e que a área não visível representa no máximo 9%; por outro lado, verifica-se que nas áreas vigiadas por estes postos, as classes de risco de incêndio alto e muito alto são praticamente inexistentes (Quadro 5). Existe ainda uma sobreposição de 65% entre os raios de visibilidade dos postos 43-04 e 43-06, pelo que seria provavelmente mais eficiente proceder à realocação de pelo menos um deles.

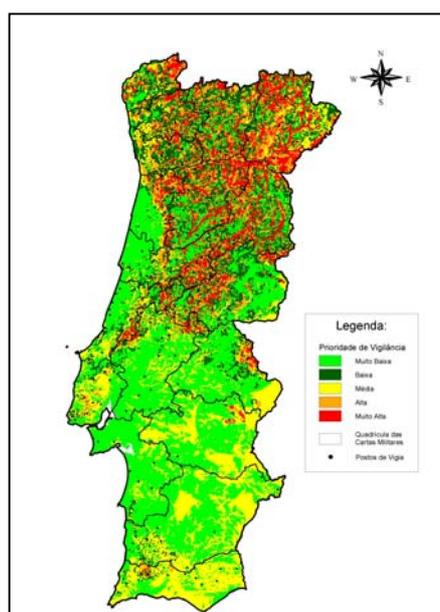
Este tipo de análises deve no entanto ser efectuada com mais pormenor, tendo por exemplo em atenção a eventual presença de uma zona de particular importância social, bem como a avaliação prévia do cenário resultante do eventual encerramento de um dos postos de vigia.

**Quadro 5** - Exemplo de uma possível avaliação de 3 postos de vigia em função de vários factores

Posto de Vigia	Nº de PV que observam a área (% de área)				Risco de Incêndio Alto e Muito Alto (% de área)
	0	1	2 ou 3	4 ou mais	
43-04	2	4	28	66	0
43-06	3	7	36	54	0
44-02	9	12	27	52	1

### Análise das prioridades de vigilância complementar

A carta de prioridades de vigilância complementar, produzida com base na metodologia referida, apresenta um nível de pormenor bastante inferior ao da carta de visibilidades; cada pixel desta carta correspondente a uma área de 100 ha (1 km<sup>2</sup>), enquanto que na carta de visibilidades o pixel representa uma área de 625 m<sup>2</sup> (1600 vezes menor). Apesar disso, parece-nos que este nível de pormenor é razoável para uma carta em que o objectivo é a identificação de áreas onde a vigilância contra os incêndios será mais ou menos prioritária, para efeitos de planeamento (Figura 4).



**Figura 4** - Carta de prioridades de vigilância de Portugal continental

Analisando esta carta de prioridades, verifica-se que em cerca de 22% do território continental nacional a

prioridade de vigilância é elevada ou muito elevada (Quadro 6); estas áreas estão localizadas predominantemente nas regiões centro e norte do país, sendo que a sul do Tejo, apenas existem nas serras de Monchique, d'Ossa e de São Mamede. Os distritos de Bragança, Viseu, Vila Real e Guarda são, por ordem decrescente, aqueles que apresentam uma maior percentagem de área com prioridade de vigilância elevada e muito elevada, relativamente à sua área total.

**Quadro 6** - Representação das classes de prioridade de vigilância complementar, em termos de área do território nacional ocupado (%)

Prioridade de Vigilância	Percentagem de Área Ocupada
Muito Baixa	41,4
Baixa	16,0
Média	20,7
Elevada	12,3
Muito Elevada	9,6

As áreas onde se regista uma prioridade muito elevada correspondem a zonas sem visibilidade e que simultaneamente apresentam um risco de incêndio alto ou muito alto, e representam cerca de 10% do território; estas áreas serão teoricamente aquelas às quais se deverá dar uma maior atenção, designadamente através do desenvolvimento de estudos mais detalhados e eventualmente da implementação ou reforço das estruturas de vigilância terrestre móvel e vigilância aérea.

Uma forma de complementar esta classificação da prioridade de vigilância em função da visibilidade e do risco de incêndio seria a de considerar também as áreas de intervenção das equipas de vigilância móvel, bem como o valor sócio-económico de cada área, atribuindo

um determinado nível de prioridade adicional às áreas mais importantes.

### Conclusões

Para assegurar um eficaz planeamento e gestão de uma rede de postos de vigia, considerada como parte integrante de um sistema de vigilância contra incêndios, é fundamental que se conheçam as áreas de território cobertas, pelos postos de vigia existentes (SHOW *et al.*, 1937; BROWN e DAVIS, 1973; RUIZ, 2000; FAO, 2001); porém esta questão está muito pouco estudada em Portugal, não sendo normalmente utilizada no planeamento e gestão dos sistemas de vigilância. Por este motivo, procurou-se com este trabalho dar um contributo para um melhor conhecimento das áreas visíveis e não visíveis a nível nacional, através da produção de cartografia digital.

Por outro lado, no planeamento de um sistema de vigilância, é irrealista considerar que o objectivo é observar todas as áreas de igual forma, pelo que, simultaneamente à análise das visibilidades deverá ser dada prioridade à vigilância de áreas que apresentem um maior risco de incêndio (DAVIS *et al.*, 1959; BROWN e DAVIS, 1973; RUIZ, 2000; FAO, 2001). Tendo este aspecto em consideração, foi também produzida uma carta nacional de prioridades de vigilância, na qual se avaliou simultaneamente a visibilidade e o risco de incêndio.

Com base nas análises e nos resultados obtidos durante a realização deste estudo, podem resumir-se algumas das principais conclusões:

1) A detecção dos fogos está fortemente correlacionada com a distância a que estes se encontram dos postos de vigia, sendo esta responsável

por 98,5% da variação do número de fogos observado;

2) O alcance da visibilidade é superior nas regiões do interior relativamente ao litoral, e é também superior em zonas planas relativamente a zonas acidentadas. Esta observação permitiu a utilização de 6 raios de visibilidade diferentes, consoante a localização geográfica de cada posto de vigia.

3) Pequenas variações na altura dos pontos alvo (*offsetB*), podem originar grandes diferenças nos resultados de visibilidade obtidos, pelo que a escolha deste parâmetro deverá ser cuidadosamente avaliada;

4) Verifica-se que cerca de 72% do território continental é vigiado pela RNPV durante a época oficial de fogos (embora na realidade a cobertura deva ser menor devido ao efeito da floresta, como obstrutor da visibilidade), porém 41% dessa área é vigiada por apenas um posto de vigia, o que significa que um fogo detectado nessas áreas será mais dificilmente localizado com rigor. Por outro lado, em cerca de metade dos postos de vigia, pelo menos 20% da área dos seus raios de visibilidade é simultaneamente observada por 4 ou mais vigias, o que parece indicar um excesso de cobertura em certas zonas;

5) Em 57% dos postos de vigia, pelo menos metade da área incluída dentro do seu raio de visibilidade apresenta um risco de incêndio alto ou muito alto, o que aparentemente é um indicador de uma boa localização desses postos; no entanto verifica-se que, em cerca de 26% dos postos de vigia existentes, estas zonas mais sensíveis não chegam a representar 5% da área;

6) Em cerca de 22% do território continental, a prioridade de vigilância é

elevada ou muito elevada. As zonas do país onde a vigilância é prioritária estão localizadas essencialmente no centro e norte, sendo também estas as regiões onde ocorre a maioria dos incêndios florestais. Estas áreas serão aquelas às quais se deverá dar uma maior atenção, designadamente através do desenvolvimento de estudos mais detalhados e da eventual implementação ou reforço das estruturas de vigilância terrestre;

7) O conhecimento da localização exacta dos postos de vigia é essencial para se poder garantir o rigor dos cálculos de visibilidade. Relativamente a este aspecto, é possível melhorar os resultados através da realização de um levantamento mais rigoroso das suas localizações;

8) A cartografia de visibilidades pode constituir uma importante ferramenta de apoio à decisão, nomeadamente na selecção dos melhores locais para a instalação de novos postos de vigia ou na alteração das localizações existentes; na identificação dos postos menos importantes que eventualmente possam ser encerrados; na delimitação das áreas onde a vigilância é prioritária; para definir de forma mais eficaz onde se deverá complementar a vigilância fixa com a vigilância móvel, e para a optimização dos recursos existentes<sup>3</sup>.

### Agradecimentos

Ao Instituto Geográfico Português por ter proporcionado as condições técnicas necessárias ao desenvolvimento deste estudo, bem como ao Grupo CRISE. À Direcção-Geral das Florestas pela disponibilização de informação diversa sobre a RNPV e pela Carta de Risco de Incêndio. Aos Eng.ºs. Miguel Galante, Miguel Cruz, Paulo Fernandez, Pedro

Marrecas, Joana Abreu, e aos Drs. Fernanda Nery e Miguel Repas, por toda a ajuda prestada durante o decorrer deste trabalho.

### Bibliografia

- ALMEIDA, R., 1998. A Localização de incêndios florestais em SIG's com fins operacionais e de planeamento florestal. In *Seminário Controle de Fogos Florestais*, UTAD, Vila Real, pp. 93-94.
- ARTSYBASHEV, E.S., 1984. Detection of forest fires. In *Forest fires and their control*. Russian Translations Series: 15, New Delhi, pp. 46-61.
- BROWN, A.A., DAVIS, K.P., 1973. Forest fire detection. In *Forest fire - Control and use*, Second Edition (Eds. W.P. Orr, N. Frankel and S. Langman), McGraw-Hill, New York, pp. 327-344.
- BRUCE, H.D., 1941. Theoretical analysis of smoke-column visibility. *Journal of Agricultural Research* **62**(3) : 161-178. Washington.
- BUCK, C.C., 1938. Factors influencing the discovery of forest fires by lookout observers. *Journal of Agricultural Research* **56**(4) : 259-268. Washington.
- BUCK, C.C., FONS, W.L., 1936. The effect of direction of illumination upon the visibility of a smoke column. *Journal of Agricultural Research* **51**(10) : 907-918. Washington.
- CHANDLER, C., CHENEY, P., THOMAS, P., TRABAUD, L., WILLIAMS, D., 1983. Detection. In *Fire in forestry - Volume II: Forest fire management and organization*. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 69-73.
- DAVIS, K.P., BYRAM, G.M., KRUMM, W.R., 1959. Detection. In *Forest fire. Control and use*. McGraw-Hill, New York, pp. 282-303.
- DGRF, 2004. Carta de Risco de Incêndio. Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF). [www.dgf.min-agricultura.pt/v4/dgf/pub.php?ndx=856](http://www.dgf.min-agricultura.pt/v4/dgf/pub.php?ndx=856)

- EC, 2002. *Forest fires in Europe - 2001 Fire campaign*. Report No 2. San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Schmuck, G. and Schulte, E. (Eds), Official Publication of the European Commission (EC), SPI.02.72.EN.
- ESRI, 1992. *Arc Info User's Guide 6.1: Arc Command Reference J-Z* (Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.).
- FAO, 2001. La detección. In *Guide Technique International. Protection des forêts contre l'incendie - Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, pp. 71-76.
- FISHER, P.F., 1996. Extending the applicability of viewsheds in landscape planning. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing* **62** : 1297-1302.
- GALANTE, L.M.D.P.V., 2001. *Rede nacional de postos de vigia*. Direcção-Geral das Florestas (DGF), Lisboa, 79 pp.
- IA, 2003. Atlas Digital do Ambiente. Instituto do Ambiente (IA). [www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp](http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp)
- ICONA, 1981. Vigilancia y detecccion. In *Tecnicas para defensa contra incendios forestales*. Monografia 24. Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza (ICONA), pp. 58-60.
- JENNESS, J., 2001. Grid Surface Area Manual. Jenness Enterprises. <http://www.jennessent.com>.
- MACEDO, F.W., SARDINHA, A.M., 1987. Detecção de fogos. In *Fogos florestais - 2º Volume* (2ª ed.). Publicações Ciência e Vida, Lda., Lisboa, pp. 113-131.
- MEES, R.M., 1978. *Seen areas and the distribution of fires about a lookout*. General Technical Report PSW-26/1978, US Department of Agriculture - Forest Service.
- RUIZ, E.M., 2000. Detección. In VÉLEZ, R. (Coordenador). *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. McGraw-Hill, Madrid, pp. 17.1-17.9.
- SGMA, 1998. Paisaje. In *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Secretaria General de Medio Ambiente (SGMA), Madrid, pp. 493-506.
- SHOW, S.B., KOTOK, E.I., GOWEN, G.M., CURRY, J.R., BROWN, A.A., 1937. *Planning, constructing and operating forest-fire lookout systems in California*, Circular N.º. 449. U.S. Department of Agriculture, Washington. 55 pp.
- TREJO, D.A.R., 1996. Detección. In *Incendios forestales*. Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 335-339.
- USDHHS, 2002. Growth charts. Centers for Disease Control and Prevention - United States Department of Health and Human Services (USDHHS). [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov).

Entregue para publicação em Julho de 2003  
Aceite para publicação em Setembro de 2003

<sup>1</sup> As únicas cartas de visibilidades produzidas a nível nacional, de que temos conhecimento, foram as produzidas por Almeida (1998), embora recorrendo a uma metodologia diferente e mais simplificada do que aquela que se apresenta neste trabalho; a nível regional foram feitos alguns trabalhos recorrendo a métodos manuais (esboços e perfis).

<sup>2</sup> De entre estes registos, alguns podem não corresponder a uma primeira detecção.

<sup>3</sup> Dois dos autores deste artigo (Catry e Rego) encontram-se actualmente no Centro de Ecologia Aplicada (ISA-UTL) a terminar uma avaliação mais aprofundada da RNPV, para a qual se procedeu ao levantamento de todos os postos de vigia com recurso a GPS e na qual se desenvolveram e aplicaram as metodologias aqui apresentadas. Este trabalho decorre no âmbito da Iniciativa sobre Incêndios Florestais da COTEC (Associação Empresarial para a Inovação), em colaboração com o INOV (INESC Inovação).